

MODEL MATEMATIKA PEMILIHAN TANAMAN YANG OPTIMAL DALAM POLA TANAM *MIXED-CROPPING*

Asep K. Supriatna, Ichary Soekirno, F. Rarasapti, Y. Priatna dan Badrulfallah
Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran
Jatinangor, Bandung 40600

ABSTRAK

Dalam paper ini dibahas suatu prosedur untuk mencari kombinasi tanaman yang optimal dalam pola tanam *mixed-cropping*. Contoh numerik memperlihatkan bahwa prosedur ini cukup efektif untuk menentukan kombinasi optimal, sekaligus juga mengurangi langkah komputasi yang ditempuh jika dibandingkan dengan metoda pencarian lengkap.

Kata kunci: Pemodelan matematika, pemrograman linier, pola tanam campuran.

A MATHEMATICAL MODEL FOR OBTAINING AN OPTIMAL CROP COMBINATION IN A MIXED-CROPPING SCHEME

ABSTRACT

In this paper we develop an alternative procedure to obtain optimal crop-combination in a mixed-cropping scheme. Numerical example shows that the procedure is able to locate the optimal crop-combination effectively, yet it reduces the computation compared to the complete enumeration method.

Keywords: Mathematical modeling, linear programming, mixed-cropping scheme.

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor yang sangat penting dalam pembangunan dan perekonomian secara umum, baik di Indonesia maupun di negara lain yang sudah maju (Harrison-Mayfield, 1996). Perencanaan dan pengambilan keputusan sangat menentukan dalam keberhasilan setiap program yang akan dilaksanakan dalam berbagai bidang pembangunan dan perekonomian. Sudah sejak lama *mathematical modelling* dikenal sebagai satu alat yang dapat dipakai untuk merumuskan perencanaan dan mendapatkan keputusan yang tepat dalam berbagai bidang perekonomian dan pembangunan, termasuk dalam pertanian (Heady, 1971; McCarl dkk., 1974; Howwit dan Taylor, 1992; Ragsdale, 1997; Supriatna, 1998). Dalam hal pertanian, berbagai usaha sudah dilakukan untuk mengefektifkan lahan pertanian sehingga bisa diperoleh hasil yang lebih baik. Misalnya saja dengan melakukan penanaman berbagai macam komoditi dalam satu lahan pertanian, yang biasa dikenal dengan sebutan *mixed-cropping*. *Mixed-cropping* ini mempunyai berbagai kelebihan dibandingkan dengan penanaman

satu jenis komoditi saja, diantaranya total hasil panen yang lebih tinggi, pengurangan daya serang hama, peningkatan daya tahan terhadap erosi tanah, terhindarnya dari kegagalan panen yang parah (Zentner, *et al.*, 1996).

Di dalam tulisan ini akan dilakukan pengkajian tentang bagaimana modelling dapat berperanan dalam proses pengambilan keputusan, khususnya dalam pengambilan keputusan tentang kombinasi optimal dari komoditi yang harus ditanam dalam praktek multi-cropping. Tulisan ini secara umum akan membahas dua hal yang berkaitan dengan masalah di atas. Pertama, gagasan praktis tentang bagaimana modelling dapat membantu pengambil keputusan dalam menentukan komoditi-komoditi mana saja yang harus ditanam dan bagaimana proporsi tiap tanaman yang tepat. Kedua, gagasan studi teoritis tentang bagaimana proses pengambilan keputusan dapat dikembangkan sehingga menghasilkan keputusan yang lebih baik.

MODEL MATEMATIKA

Model yang digunakan dalam tulisan ini merupakan pengembangan dari model efek interaksi dari Jolayemi dan Olaomi (1995). Oleh sebab itu, dalam tulisan ini, terlebih dahulu akan dibahas model dari Jolayemi dan Olaomi tersebut.

Model Efek Interaksi Jolayemi dan Olaomi

Misalkan $i=1,2,3,\dots,k$ menunjukkan indeks/jenis tanaman. Jika keuntungan yang diharapkan dari tanaman i per hektar dalam pola penanaman *monoculture* adalah u_i , maka perolehan keuntungan dari penanaman tanaman i seluas x_i hektar adalah $u_i x_i$. Dengan demikian keuntungan total yang diperoleh dari pengolahan t jenis tanaman yang dipilih dari k jenis tanaman di atas, tanpa melihat efek interaksi antar jenis tanaman, adalah

$$\sum_{i \in W} u_i x_i \quad (1)$$

Dalam hal ini W merupakan himpunan terurut dari t jenis tanaman yang dipilih tersebut.

Selanjutnya jika diketahui bahwa efek per hektar dari tanaman i terhadap tanaman j adalah e_{ij} (dengan $i, j \in W$), maka efek x_i hektar dari tanaman i yang ditanam bersama-sama tanaman j adalah $e_{ij} x_i$. Dengan demikian, efek total dari penanaman t jenis tanaman secara bersama-sama dalam satu areal pertanian adalah $\sum_{j \in W} \sum_{i \in W} e_{ij} x_i$. Efek ini dapat diukur dengan menggunakan satuan moneter, misalnya dalam *rupiah*. Dengan diketahuinya efek moneter dari penanaman t jenis tanaman secara bersama-sama, maka keuntungan total yang dapat diperoleh dari pengolahan tanah seluas x_i hektar adalah

$$Z = \sum_{i \in W} u_i x_i + \sum_{j \in W} \sum_{i \in W} e_{ij} x_i \quad (2)$$

Persamaan (2) ini merupakan fungsi objektif dari penanaman dengan pola *mixed-cropping*. Suku kedua dari fungsi objektif di atas yang membedakan fungsi objektif ini dengan fungsi objektif pada penanaman dengan pola *monoculture* pada persamaan (1). Selanjutnya untuk menghitung nilai optimal fungsi objektif tersebut akan dibuat fungsi pembatas (kendala) sebagai berikut.

Biaya x_i hektar tanah untuk tanaman i adalah $l_i x_i$ dengan demikian biaya keseluruhan tanah pertanian untuk penanaman t ($t=2,3,4, \dots, k$) tanaman yang dipilih untuk *mixed cropping* adalah $\sum_{i \in W} l_i x_i$. Jika jumlah total dana yang tersedia untuk tanah pertanian adalah L rupiah, maka kendala pertama program linier ini adalah

$$\sum_{i \in W} l_i x_i \leq L. \quad (3)$$

Biaya untuk tanaman bibit tanaman i per hektar adalah $d_i x_i$ dengan demikian biaya total pembibitan dari t tanaman yang dipilih adalah $\sum_{i \in W} d_i x_i$. Jika jumlah dana yang tersedia untuk pembibitan adalah D rupiah, maka kendala yang kedua adalah

$$\sum_{i \in W} d_i x_i \leq D. \quad (4)$$

Biaya pemupukan x_i hektar tanaman i adalah $f_i x_i$ dengan demikian biaya total untuk pemupukan t tanaman adalah $\sum_{i \in W} f_i x_i$. Jika jumlah dana yang tersedia untuk pupuk adalah F rupiah, maka kendala yang ketiga adalah

$$\sum_{i \in W} f_i x_i \leq F. \quad (5)$$

Biaya penanaman x_i hektar tanaman i adalah $p_i x_i$ dengan demikian biaya total penanaman t tanaman yang dipilih untuk *mixed cropping* adalah $\sum_{i \in W} p_i x_i$. Jika jumlah total dana yang tersedia untuk penanaman adalah P rupiah, maka kendala yang keempat adalah

$$\sum_{i \in W} p_i x_i \leq P. \quad (6)$$

Biaya untuk pengelolaan x_i hektar tanaman i dari pasca penanaman sampai waktu pemanenan adalah $m_i x_i$. Jika total dana yang tersedia untuk operasi ini adalah M rupiah, maka kendala yang kelima adalah

$$\sum_{i \in W} m_i x_i \leq M. \quad (7)$$

Biaya pemanenan x_i hektar tanaman i adalah $v_i x_i$ dengan demikian biaya total pemanenan untuk t tanaman adalah $\sum_{i \in W} v_i x_i$. Jika total dana yang tersedia untuk pemanenan adalah V rupiah, maka kendala yang keenam adalah

$$\sum_{i \in W} v_i x_i \leq V. \quad (8)$$

Biaya keseluruhan untuk pasca panen atau biaya untuk proses pasca panen x_i hektar tanaman i adalah $h_i x_i$ dengan demikian biaya total pasca panen untuk t tanaman adalah $\sum_{i \in W} h_i x_i$. Jika H rupiah yang tersedia untuk proses pasca panen, maka kendala yang ketujuh adalah

$$\sum_{i \in W} h_i x_i \leq H. \quad (9)$$

Biaya asuransi x_i hektar tanaman i adalah $g_i x_i$ dengan demikian biaya total asuransi untuk t tanaman adalah $\sum_{i \in W} g_i x_i$. Jika G rupiah yang tersedia untuk asuransi, maka kendala yang kedelapan adalah

$$\sum_{i \in W} g_i x_i \leq G. \quad (10)$$

Luas tanah pertanian yang digunakan untuk *mixed cropping* adalah A hektar. Jika luas tanah yang digunakan untuk pengerjaan tiap-tiap tanaman tidak boleh lebih dari A , maka kendala yang kesembilan adalah

$$x_i \leq A, \text{ untuk semua } i \in W. \quad (11)$$

Dari formulasi di atas, maka model pemrograman linier (PL) untuk *mixed-cropping* adalah

$$\text{Maksimasi } Z = \sum_{i \in W} u_i x_i + \sum_{j \in W} \sum_{i \in W} e_{ij} x_i$$

dengan kendala:

$$x_i \leq A \text{ untuk semua } i \in W,$$

$$x_i \geq 0 \text{ untuk semua } i \in W,$$

dan semua kendala pada pertaksamaan (3) sampai dengan (11).

KOMBINASI OPTIMAL

Untuk mendapatkan kombinasi yang optimal, yaitu kombinasi tanaman yang memberikan keuntungan terbesar, dapat dilakukan dengan cara menghitung semua kombinasi tanaman dan nilai fungsi objektif untuk setiap kombinasi tanaman tersebut (*Complete Enumeration Method / CEM*). Namun, jumlah tanaman yang banyak berarti pula jumlah permasalahan pemrograman linier

yang banyak. Proses perhitungan dan jumlah dari permasalahan pemrograman linier (PL) yang banyak merupakan hambatan yang ada pada prosedur CEM ini. Untuk mengurangi jumlah perhitungan yang disertakan pada aplikasi dalam model ini, selanjutnya akan dilakukan pula pengembangan prosedur solusi yang lain untuk permasalahan pemrograman linier ini, yaitu *The Minimum Benefit Method* dan *The Highest Profit Method* (Jolayemi dan Olaomi, 1995), serta sebuah metoda hasil modifikasi dari prosedur Jolayemi dan Olaomi yang kami sebut *The Worst Effect Method*.

1 The Complete Enumeration Method (CEM)

Prosedur ini dimulai dengan mencari solusi PL untuk semua jenis tanaman yang ada sebagai kandidat tanaman dalam *mixed cropping*, katakanlah k jenis tanaman, dengan cara memasukan semua jenis tanaman kandidat ke dalam model PL dari *mixed cropping*. Proses selanjutnya adalah menghitung secara sistematis sehingga kombinasi tanaman hanya terdiri dari 2 jenis tanaman yang berbeda. Selesaikan model ini untuk memperoleh nilai optimal dari fungsi objektif. Sebut nilai optimalnya dengan Z_k^* , yang merupakan nilai fungsi objektif tertinggi dari semua kemungkinan kombinasi penanaman dari k jenis tanaman kandidat. Jika t ($t \geq 2$) merupakan jumlah tanaman yang dipilih dari k jenis tanaman yang ada, maka ada C_t^k kemungkinan kombinasi penanaman. Oleh karena itu, jumlah total kombinasi tanaman yang harus diperiksa untuk mendapatkan kombinasi optimal adalah $\sum_{t \in Q} C_t^k$ kombinasi, dengan $Q = \{2, 3, \dots, k\}$, yang berarti pula harus menyelesaikan sebanyak $\sum_{t \in Q} C_t^k$ masalah PL.

2 The Minimum Benefit Method (MBM)

Dalam prosedur ini, tidak semua kombinasi tanaman dihitung, tetapi untuk kombinasi tanaman yang memiliki taksiran keuntungan terkecil per hektar (MB_i) diantara k tanaman, maka kombinasi tanaman tersebut tidak disertakan pada proses perhitungan selanjutnya. Taksiran keuntungan terkecil per hektar didefinisikan sebagai

$$MB_i^* = \min_i \left\{ u_i + \sum_{j \in S} e_{ij} + \sum_{j \in S} e_{ji} \right\} \quad (12)$$

dimana i juga terdapat di S dan S merupakan himpunan terurut dari semua tanaman yang dimasukan ke dalam kombinasi dalam *mixed cropping*.

Proses detailnya adalah dengan menghilangkan tanaman ke- i dari *mixed cropping* yang memiliki taksiran keuntungan terkecil, kemudian masukkan parameter dari $k-1$ tanaman yang tersisa ke dalam model pemrograman linier, selanjutnya selesaikan permasalahan tersebut untuk memperoleh solusi optimal dari permasalahan yang baru tersebut. Proses perhitungan MB_i ini dilakukan

hingga hanya tersisa 2 jenis tanaman. Nilai optimal dari fungsi objektif tersebut kita sebut dengan Z^{*}_{k-1} .

Dengan nilai minimum dari MB_i ini, kombinasi tanaman yang memiliki nilai tertinggi dari keuntungan dapat diperoleh, langkah selanjutnya adalah dengan tanpa menyelesaikan semua permasalahan pemrograman linier dari k kombinasi tanaman kita dapatkan satu kombinasi yang memiliki nilai keuntungan tertinggi. Proses paling akhir dari prosedur ini adalah penentuan nilai maksimum dari fungsi objektif untuk $k-1$ permasalahan pemrograman linier, yakni dengan menentukan

$$Z^{**} = \max_{2 \leq s \leq k} \{Z_s^*\} \quad (13)$$

Kombinasi tanaman dengan nilai Z^{**} merupakan kombinasi tanaman yang terbaik untuk perencanaan *mixed cropping*.

3 The Highest Profit Method (HPM)

Dengan menggunakan pendekatan yang lain, dalam prosedur ini semua kombinasi tanaman $\sum_{t \in Q} C_t^k$ (k dan t seperti yang didefinisikan sebelumnya) dibagi ke dalam kelompok kombinasi. Tiap-tiap kombinasi tanaman katakanlah t ($t=2,3,\dots,k$) terdapat $k-1$ kelompok kombinasi tanaman yang berbeda. Di dalam tiap-tiap $k-1$ kelompok kombinasi, kombinasi tanaman yang diperkirakan memiliki jumlah keuntungan tertinggi dapat diperoleh. Oleh karena itu, jika G_{st} ($s = 1,2,\dots,C_t^k$) merupakan himpunan tanaman yang terurut dari kombinasi tanaman ke- s dalam kelompok kombinasi t , kita dapat s^* yang bersesuaian dengan G_{s^*t} sedemikian sehingga

$$PH_{s^*t} = \max_{1 \leq s \leq C_t^k} \left\{ \sum_{i \in G_{st}} u_i + \sum_{j \in D_{st}} \sum_{i \in G_{st}} e_{ij} \right\}, \quad (14)$$

$$s = 1,2,\dots,C_t^k.$$

Himpunan kombinasi tanaman dengan nilai PH_{st} tertinggi dari kelompok kombinasi yang berbeda akan membentuk *subset* G_{s^*t} ($t=2,3,\dots,k$) yang "unggul". Parameter input untuk tiap-tiap kombinasi tanaman pada *subset* terbaik digunakan selanjutnya sebagai data input model untuk memperoleh solusi optimal. Kombinasi tanaman yang berhubungan dengan permasalahan pemrograman linier dengan nilai fungsi objektif tertinggi merupakan seleksi akhir sebagai kombinasi tanaman yang terbaik untuk perencanaan *mixed cropping*.

4 The Worst Effect Method (WEM)

Dalam prosedur ini dicari total efek terkecil yang ada dalam *mixed cropping*. Nilai total efek tersebut dinyatakan sebagai

$$TE_i = \min_i \left\{ \sum_{j \in S} e_{ij} + \sum_{j \in S} e_{ji} \right\} \quad (15)$$

Tanaman yang memberikan TE_i terkecil tidak disertakan pada proses perhitungan selanjutnya, karena dianggap dengan nilai tersebut berarti interaksi antar tanaman cenderung merugikan. Perhitungan dilakukan hingga tersisa 2 jenis tanaman yang akan dilakukan dalam *mixed cropping*.

4. CONTOH NUMERIK

Untuk membandingkan bagaimana prosedur ini bekerja, perhatikan contoh numerik di bawah ini. Contoh ini diambil dari Jolayemi dan Olaomi (1995) dengan alasan untuk perbandingan metoda-metoda di atas. Dalam contoh tersebut, seorang petani komersial membuat perencanaan *mixed cropping* untuk 600 hektar tanah pertaniannya. Dia menginginkan penanaman dengan kombinasi jenis tanaman yang terbaik dari segi keuntungan yang dihasilkan. Hasil dari analisis tanah menunjukkan bahwa terdapat 4 jenis tanaman, yakni jagung, ubi, merica dan *okra* (selanjutnya sebut saja tanaman 1, 2, 3, dan 4) yang tumbuh subur pada tanah pertanian miliknya. Nilai untuk parameter model ditunjukkan pada Tabel 1. sampai dengan Tabel 4 berikut ini:

Tabel 1. Biaya yang diperlukan per hektar untuk jenis tanaman 1, 2, 3 dan 4(dalam satuan mata uang)

Komponen Biaya	Jenis Tanaman			
	1	2	3	4
I_i	8	9	7	6
Di	4	3	6	5
f_i	4	2	3	5
p_i	1	4	4	3
m_i	3	2	4	1
v_i	1	4	3	2
h_i	5	3	1	2
g_i	3	4	1	2

Tabel 2. Efek tanaman i terhadap tanaman j

Tanaman j	1	2	3	4
Tanaman i				
1	0	-1	-4	-3
2	1	0	-2	-1
3	-3	2	0	-4
4	3	2	-5	0

Tabel 3. Alokasi maksimum untuk tiap komponen

Komponen	Alokasi Maksimum (dalam ribuan)
L	20
D	5
F	10
P	6
M	18
V	30
H	15
G	22

Tabel 4. Keuntungan per hektar yang diharapkan tiap jenis tanaman

Tanaman	1	2	3	4
Keuntungan	60	70	60	40

Untuk menyelesaikan permasalahan di atas, kita gunakan semua parameter dari masing-masing tanaman ke dalam model. Sebagai contoh, untuk kombinasi tanaman 1, 2, 3 dan 4, model PL apabila efek interaksi kita libatkan, yakni $e_{ij} \neq 0$, akan berbentuk:

$$\text{Maksimasi } Z = 52x_1 + 68x_2 + 55x_3 + 40x_4 ,$$

dengan kendala

$$\begin{aligned}
 x_1, x_2, x_3, x_4 &\leq 600 & 3x_1 + 2x_2 + 4x_3 + x_4 &\leq 18000 \\
 8x_1 + 9x_2 + 7x_3 + 6x_4 &\leq 20000 & x_1 + 4x_2 + 3x_3 + 2x_4 &\leq 30000 \\
 4x_1 + 3x_2 + 6x_3 + 5x_4 &\leq 5000 & 5x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 &\leq 15000 \\
 4x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 5x_4 &\leq 10000 & 3x_1 + 4x_2 + x_3 + 2x_4 &\leq 22000 \\
 x_1 + 4x_2 + 4x_3 + 3x_4 &\leq 6000 & x_1, x_2, x_3, x_4 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Sedangkan apabila efek interaksi tidak kita libatkan, yakni $e_{ij} = 0$, maka model akan berbentuk

$$Z_0 = 60x_1 + 70x_2 + 60x_3 + 40x_4,$$

dengan kendala yang sama seperti di atas. Tabel 5 memperlihatkan solusi optimal untuk permasalahan di atas dengan menggunakan prosedur *CEM* (komputasi dilakukan dengan menggunakan *MS-Solver®*).

Tabel 5. Solusi PL dengan CEM

Kelompok kombinasi	Kombinasi tanaman	Nilai optimal variabel x_i (dalam hektar)	Nilai optimal fungsi objektif Z untuk $e_{ij} \neq 0$	Nilai optimal fungsi objektif Z_0 untuk $e_{ij} = 0$
2	1,2	$X_1=600 \ x_2=600$	78000	78000
	1,3	$X_1=600 \ x_3=433,33$	58300	62000
	1,4	$X_1=600 \ x_4=520$	56560	56800
	2,3	$X_2=600 \ x_3=533,33$	73866,67	74000
	2,4	$X_1=600 \ x_4=600$	66600	66000
	3,4	$X_3=600 \ x_4=280$	43400	47200
3	1,2,3	$X_1=600 \ x_2=600$	82266,67	86000
	1,2,4	$X_1=600 \ x_2=600$	82800	84400
	1,3,4	$X_1=600 \ x_3=433,33$	54700	55033,33
	2,3,4	$X_2=600 \ x_3=533,33$	71133,33	74000
4	1,2,3,4	$X_1=600 \ x_2=600$	79333,33	86000
		$x_3=133,33 \ x_4=0$		

Berdasarkan Tabel 5. di atas, seandainya kita salah mengartikan tentang interaksi ini (dianggap tidak ada interaksi ekologi, padahal sebenarnya hal tersebut terjadi di lapangan), maka kita akan memilih kombinasi tanaman (1, 2, 3) atau kombinasi tanaman (1, 2, 3, 4) dengan anggapan akan memperoleh keuntungan sebesar 86000 satuan mata uang (anggapan keliru). Padahal sebenarnya dengan adanya interaksi, keuntungan yang diperoleh hanyalah 82267 untuk kombinasi (1, 2, 3) dan 79333,33 untuk kombinasi (1, 2, 3, 4). Keuntungan ini lebih rendah dari keuntungan optimal sebenarnya, yaitu 82800 dari kombinasi

(1, 2, 4) apabila interaksi dilibatkan dalam perhitungan. Kekeliruan ini akan menyebabkan terjadinya *over estimasi* terhadap keuntungan yang diharapkan dan akibatnya terjadi kesalahan pemilihan kombinasi tanaman pada perencanaan *mixed cropping*.

Untuk proses perhitungan di atas kita masih dapat menggunakan CEM dengan menghitung semua kombinasi yang mungkin, tetapi jika data dalam jumlah yang banyak, proses di atas menjadi tidak efisien. Apabila menggunakan MBM, tanaman yang memiliki taksiran keuntungan terkecil per hektar tidak disertakan pada proses selanjutnya. Dengan menggunakan persamaan (12), tanaman yang memiliki taksiran keuntungan terkecil dapat dilihat pada Tabel 6. Tabel tersebut menunjukkan $MB_i^* = MB_4 = 32$. Dengan demikian tanaman ke- $i^* = 4$ tidak dilibatkan dalam perhitungan selanjutnya Tabel 7.

Tabel 6. Perhitungan taksiran keuntungan per hektar untuk keempat tanaman

Tanaman	Perhitungan taksiran keuntungan (MB_i)	MB_i^*
1	$u_1 + e_{11} + e_{12} + e_{13} + e_{14} + e_{11} + e_{21} + e_{31} + e_{41} = 60 + 0 - 1 - 4 - 3 + 0 + 1 - 3 + 3 = 53$	
2	$u_2 + e_{21} + e_{22} + e_{23} + e_{24} + e_{12} + e_{22} + e_{32} + e_{42} = 70 + 1 + 0 - 2 - 1 - 1 + 0 + 2 + 2 = 71$	
3	$u_3 + e_{31} + e_{32} + e_{33} + e_{34} + e_{13} + e_{23} + e_{33} + e_{43} = 60 - 3 + 2 + 0 - 4 - 4 - 2 + 0 - 5 = 44$	
4	$u_4 + e_{41} + e_{42} + e_{43} + e_{44} + e_{14} + e_{24} + e_{34} + e_{44} = 40 + 3 + 2 - 5 + 0 - 3 - 1 - 4 + 0 = 32$	32

Tabel 7. Perhitungan taksiran keuntungan per hektar untuk ketiga tanaman

Tanaman	Perhitungan taksiran keuntungan (MB_i)	MB_i^*
1	$u_1 + e_{11} + e_{12} + e_{13} + e_{11} + e_{21} + e_{31} = 60 + 0 - 1 - 4 + 0 + 1 - 3 = 53$	53
2	$u_2 + e_{21} + e_{22} + e_{23} + e_{12} + e_{22} + e_{32} = 70 + 1 + 0 - 2 - 1 + 0 + 2 = 70$	
3	$u_3 + e_{31} + e_{32} + e_{33} + e_{13} + e_{23} + e_{33} = 60 - 3 + 2 + 0 - 4 - 2 + 0 = 53$	53

Tabel 7. menunjukkan adanya nilai yang sama, yaitu $MB_i^* = MB_1 = MB_3 = 53$. Dalam hal ini kita harus bandingkan kombinasi tanaman (1,2) dan tanaman (2,3). Jadi dengan menggunakan MBM ini, kita tidak perlu menghitung semua kombinasi tanaman yang mungkin, tetapi hanya beberapa kombinasi, yaitu kombinasi tanaman (1,2,3,4), (1,2,3), (1,2) dan (2,3). Hasil yang sama juga diperoleh jika kita menggunakan HPM pada persamaan 14 (Rarasapti, 2000). Akan tetapi jika yang kita gunakan adalah WEM (persamaan 15) maka kombinasi tanaman yang harus dihitung berbeda, seperti yang akan ditunjukkan berikut.

Dengan menggunakan WEM kita peroleh Tabel 8 dan Tabel 9. Tabel 8 memperlihatkan bahwa $TE_i^* = TE_3 = -16$, maka dalam hal ini tanaman ke- $i^* = 3$ dihilangkan dari perhitungan selanjutnya (Tabel 9). Kemudian Tabel 9 memperlihatkan $TE_i^* = TE_1 = 0$, maka dalam hal ini tanaman ke- $i^* = 1$ dihilangkan dan proses perbandingan efek interaksi selesai karena tinggal 2 tanaman, yaitu

tanaman 2 dan 4. Dari proses ini, maka PL yang perlu diselesaikan hanya PL untuk kombinasi tanaman (1, 2, 3, 4), (1, 2, 4) dan (2, 4) saja. Hasil lengkap ditunjukkan oleh Tabel 10.

Tabel 8. Perhitungan total efek untuk keempat jenis tanaman

Tanaman	Perhitungan total efek (TE_i)	TE_i^*
1	$e_{11}+e_{12}+e_{13}+e_{14}+e_{21}+e_{31}+e_{41} = 0-1-4-3+0+1-3+3 = -7$	
2	$e_{21}+e_{22}+e_{23}+e_{24}+e_{12}+e_{22}+e_{32}+e_{42} = 1+0-2-1-1+0+2+2 = 1$	
3	$e_{31}+e_{32}+e_{33}+e_{34}+e_{13}+e_{23}+e_{33}+e_{43} = -3+2+0-4-4-2+0-5 = -16$	-16
4	$e_{41}+e_{42}+e_{43}+e_{44}+e_{14}+e_{24}+e_{34}+e_{44} = 3+2-5+0-3-1-4+0 = -8$	

Tabel 9. Perhitungan total efek untuk ketiga jenis tanaman

Tanaman	Perhitungan total efek (TE_i)	TE_i^*
1	$e_{11}+e_{12}+e_{14}+e_{11}+e_{21}+e_{41} = 0-1-3+0+1+3 = 0$	0
2	$e_{21}+e_{22}+e_{24}+e_{12}+e_{22}+e_{42} = 1+0-1-1+0+2 = 1$	
4	$e_{41}+e_{42}+e_{44}+e_{14}+e_{24}+e_{44} = 3+2+0-3-1+0 = 1$	

PENUTUP

Dari Tabel 10. diperoleh bahwa nilai optimal sebenarnya diberikan oleh CEM, yaitu 82800 dengan kombinasi tanaman optimal (1,2,4). MBM dan PHM mampu meredusir jumlah PL yang harus diselesaikan, namun tidak efektif untuk bisa mencapai nilai optimal yang diberikan oleh CEM. Kedua-duanya menghasilkan nilai sub-optimal 82266,67. Dilain pihak, dalam contoh numerik ini, metoda yang kami sebut WEM, selain mampu meredusir jumlah PL juga efektif untuk mencapai nilai optimal seperti yang diperoleh CEM. Alternatif lain yang dapat mencapai nilai optimal ini diberikan oleh Lobo (1996) dengan menggunakan fungsi objektif baru yang non-linier yang merupakan gabungan dari semua fungsi objektif dari masing-masing PL untuk setiap kombinasi tanaman.

Bila kita tetap menggunakan MBM dan PHM, maka kita akan menghilangkan satu jenis tanaman (tanaman 4) yang potensial untuk memberikan keuntungan lebih dibandingkan dengan tanaman 3. Dalam Tabel 2 dapat kita lihat tanaman 4 memiliki efek lebih kecil terhadap tanaman lainnya dibandingkan dengan tanaman 3, walaupun dalam Tabel 4 keuntungan per hektar yang diharapkan untuk tanaman 4 lebih kecil daripada tanaman lainnya. Jadi dengan demikian prosedur MBM dan PHM akan membuang tanaman 4. Di lain pihak, WEM akan mempertahankan tanaman 4 ini karena bukan merupakan tanaman yang paling jelek dalam hal interaksi biologisnya. Dia hanya bersifat merugikan bagi tanaman 3, dimana tanaman 3 ini juga merugikan bagi tanaman lainnya (tanda negatif dengan nilai mutlak terbesar pada Tabel 8). Dengan demikian WEM ini mampu memperoleh kombinasi tanaman yang tepat dan sesuai dengan CEM (kombinasi optimal sebenarnya), yakni kombinasi (1, 2, 4).

Secara umum dalam tulisan ini telah dibahas dua hal yang saling berkaitan. Pertama, gagasan praktis tentang bagaimana modelling dapat membantu pengambil keputusan dalam menentukan komoditi-komoditi mana saja yang harus ditanam dan bagaimana proporsi tiap tanaman yang tepat. Kedua, gagasan studi teoritis tentang bagaimana proses pengambilan keputusan dapat dikembangkan, misalnya dengan melihat efek interaksi biologis komoditi-komoditi tersebut terhadap hasil panen yang diperoleh, sehingga menghasilkan keputusan yang lebih baik.

Tabel 10. Kombinasi Tanaman Optimal untuk Setiap Metoda

Kelompok Kombinasi	Kombinasi Tanaman	Nilai Optimal Variable Keputusan	Nilai Optimal Fungsi Objektif Z			
			CEM	MBM	HPM	WEM
2	1,2	$x_1=600$ $x_2=600$	78000	78000	78000	
	1,3	$x_1=600$ $x_3=433,3$	58300			
	1,4	$x_1=600$ $x_4=520$	56560			
	2,3	$x_2=600$ $x_3=533,33$	73866,67	73866,67	73866,67	
	2,4	$x_1=600$ $x_4=600$	66600			66600
	3,4	$x_3=600$ $x_4=280$	43400			
3	1,2,3	$x_1=600$ $x_2=600$ $x_3=133,33$	82266,67	82266,67	82266,67	
	1,2,4	$x_1=600$ $x_2=600$ $x_4=160$	82800			82800
	1,3,4	$x_1=600$ $x_3=433,33$ $x_4=0$	54700			
	2,3,4	$x_2=600$ $x_3=533,33$ $x_4=0$	71133,33			
4	1,2,3,4	$x_1=600$ $x_2=600$ $x_3=133,33$ $x_4=0$	79333,33	79333,33	79333,33	79333,33

Keterangan: Tanda *shading* menunjukkan bahwa PL untuk kombinasi ini tidak dihitung.

DAFTAR PUSTAKA

- Harrison-Mayfield, L. (1996). Agriculture's links with the rural economy: *an input-output approach?* In *Rural Economics Modelling: An Input-Output Approach* (Eds. Midmore dan Harrison-Mayfield). Centre for Agriculture and Biosciences International. Willingford: 19-34.
- Heady, E.O. (1971). *Economic Models and Quantitative Methods for Decisions and Planning in Agriculture*. Proceedings of an East-West Seminar. Iowa State University Press. Iowa.
- Howwit, R dan C.R. Taylor (1992). Some microeconomics of agriculture resource use. In *Agriculture and Environmental Resource Economics* (Eds. G.A. Carlson, D. Zilberman dan J.A. Miranowski). Oxford University Press, Oxford: 28-68.
- Jolayemi, J.K and J.O. Olaomi (1995). *A mathematical programming procedure for selecting crops for mixed-cropping schemes*. *Ecological Modelling* **79**:1-9.
- Lobo, M (1996). *Mathematical Modelling in Economics*. Thesis Master. University of Adelaide, Australia.
- McCarl, B., W. Candler, D. Doser, dan P. Robbins (1974). Experience with mass audience linear programming for farm planning. *Mathematical Programming Study* **9**:1-14.
- Ragsdale, C.T.(1997). *Spreadsheet Modelling and Decision Analysis: A Practical Introduction to Management Science*. South-Western College Publ. Cincinnati. Ohio.
- Rarasapti (2000). Model Matematika Mixed-Cropping. Skripsi S1 Jurusan Matematika FMIPA UNPAD (tidak dipublikasikan).
- Supriatna (1998). Strategi optimal untuk manajemen pertanian mixed-cropping. Seminar Pembangunan Pedesaan. ICMI Orsat Adelaide, Australia 17 Oktober 1998.
- Zentner, R.P., S.A. Brandt dan C.A. Campbell (1996). *Economics of monoculture cereal and mixed oilseed-cereal rotation in West-Central Saskatchewan*. *Canadian Journal of Plant Science* **76**:393-400.